

# HYBRID VACUUM TUBE AMPLIFIER

Ondřej Fišer

Master Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: fiseon@gmail.com

**Abstract:** This paper describes the complete design of the hybrid vacuum tube amplifier for home using. The described amplifier has 3 digital inputs (TOSLINK, Sony/Philips Digital InterFace and AES3), a single analog input and a single input for the measuring microphone (for the calibration of the entire system). The paper further discuss the design of a preamplifier for analog inputs, the receiver of digital inputs, DSP circuits, power and head phones amplifier and the power source. The complex audio system is controlled by an 8-bit microprocessor and has a graphics output implemented through an OLED display. The goal of this paper is to design and build a high quality amplifier.

**Keywords:** Vacuum tube, DSP, ATmega, class A

## 1 ÚVOD

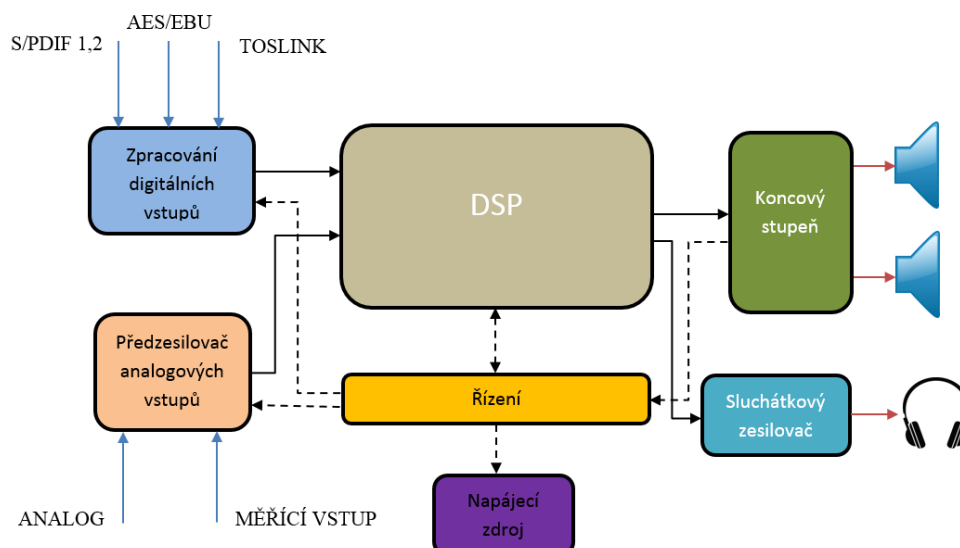
Elektronkové zesilovače [1] byly v minulosti hojně rozšířené nejen na profesionální úrovni, ale i v mnoha domácnostech mezi běžnými lidmi v podobě stolních zesilovačů. S nástupem tranzistorů, které mají mnoho nesporných výhod (vysoká účinnost, malé rozměry, menší zkreslení atd.) byly elektronky postupně vytlačeny a nahrazeny „moderními zesilovači“. V současné době jsou lampové zesilovače rozšířené především mezi hudebníky pro svoje jedinečné zkreslení v kytarových hlavách, efektech a hudebními nadšenci, kteří neváhají utratit nemalou sumu za kvalitní hudební požitek.

Tento zesilovač je navržen pro potřeby druhé cílové skupiny uživatelů. Cílem práce je navrhnout a realizovat hybridní elektronkový zesilovač, včetně analogových i digitálních vstupů, následného zpracování signálu signálovým procesorem, řízení a napájecího zdroje. Návrh je koncipován tak, aby výsledný zesilovač byl kvalitativně srovnatelný se zesilovači na trhu v cenové kategorii až desetkrát dražších produktů.

## 2 ROZBOR A REALIZACE

Konstrukce kvalitního elektronkového zesilovače je podmíněná zejména konstrukcí kvalitních výstupních transformátorů, dobrým návrhem desek plošných spojů a kvalitním stíněním všech částí. Pořízením výstupních transformátorů od specializovaných firem se konstrukce značně prodraží (zvláště pro větší výkony). Hlavním požadavkem návrhu tohoto zesilovače byl výstupní výkon  $2 \times 100 \text{ W}$ , při volitelné impedanci reproduktorů 4 nebo  $8 \Omega$ . Při požadovaném výkonu by kvalitní výstupní transformátory stály více jak 10 tisíc korun. Proto byly pro konstrukci zvoleny transformátory z mikrovlnných trub, které byly následně ručně převinuty. Tyto transformátory mají velký průřez středního sloupku, díky kterému zesilovač dobře zesiluje nízké kmitočty a bez problému zvládá trvalé zatížení na maximální výkon.

Na obrázku č. 1 je zobrazeno blokové schéma, včetně všech klíčových částí celého zařízení. Obvodová část zpracování digitálních vstupů je tvořena integrovaným obvodem CS8416 [2]. Tento obvod zajišťuje převod digitálních vstupů (TOSLINK – optický vstup, Sony/Philips Digital InterFace a AES3) na interní formát I2S, který je dále zpracováván signálovým procesorem (dále DSP). Mezi hlavní výhody tohoto obvodu patří vysoká vzorkovací frekvence 192 kHz, se kterou pracují i všechny ostatní digitální obvody. Digitální vstupy splňují normu IEC-60958 [3], která udává, že je možné k nim připojit stereofonní audio data se vzorkovacím kmitočtem až 192 kHz a rozlišením 24 bitů.



**Obrázek 1:** Blokové schéma zesilovače

Mimo digitálních vstupů je možné audio signál připojit i pomocí klasického analogového vstupu. Tento vstup tvoří integrovaný předzesilovač PGA4311 [4], který umožňuje analogový signál zesílit nebo utlumit na požadovanou úroveň (-95,5 dB až +31,5 dB), aby A/D převodník v DSP měl zajištěnou co největší dynamiku a zároveň nebyl přebuzen. Analogový vstup má vstupní impedanci 10 k $\Omega$ . Další klíčovou částí zesilovače je signálový procesor ADAU1701 [5], který zajišťuje zpracování digitálních i analogových vstupů zesilovače a veškerou úpravu signálu: nastavení hlasitosti, korekce výšek, basů, vyvážení kanálů a korekční ekvalizér, který upravuje výstupní signál pro výkonový zesilovač. Mimo to je možné nastavit uživatelský ekvalizér podle žánru hudby.

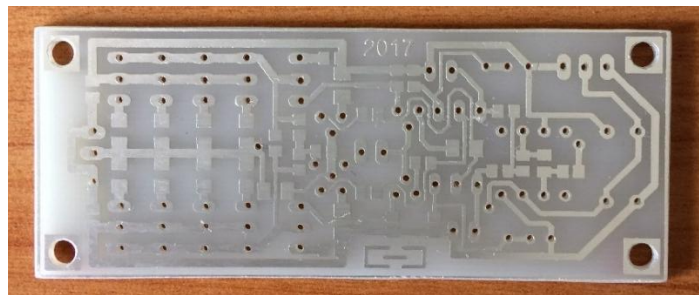
Koncový stupeň je realizován v zapojení push-pull s osmi elektronkami EL34 (4 na každý kanál) a maximálním výkonem 2 x 100 W ve třídě AB. Jako předzesilovač jsou použity elektronky EF86 a buzení koncových elektronek zajišťují elektronky ECC85. Během experimentů bylo zapojení doplněno o zápornou zpětnou vazbu (tzv. „ultralineární“ zapojení) [6]. Tato úprava zvyšuje stabilitu zesilovače, zmenšuje zkreslení (při maximálním vybuzení na 1%) a vyrovnává frekvenční charakteristiku. Cenou za tuto úpravu je zmenšení výstupního výkonu na 2 x 70 W.

Zesilovač je kromě výkonového stupně vybaven i sluchátkovým zesilovačem (viz. Obrázek č. 2). Tento zesilovač byl postaven podle návrhu [7] Kevina Gilmora. Zesilovač je plně tranzistorový a pracuje ve třídě A. Zajímavostí a zároveň velkou výhodou je, že zapojení je stejnosměrně vázáno (tzn. na vstupu ani na výstupu nepotřebuje kondenzátor), protože vazební kondenzátory mohou mít negativní vliv na kvalitu zvuku [8]. Zesilovač obsahuje automatickou kompenzaci offsetu, který je maximálně  $\pm 2$  mV.

Ovládání zesilovače je zajištěno pomocí čtyř potenciometrů a mechanického rotačního kodéru EC11 umístěných na čelním panelu zesilovače. Komunikaci mezi všemi částmi zařízení zajišťuje mikrokontrolér ATmega644P [9]. Program pro DSP byl navržen v SigmaStudios od firmy Analog Devices a je uložen v paměti mikrokontroléru, protože signálový procesor nemá žádnou vnitřní paměť. Po spuštění zesilovače je tento program překopírován do DSP a nastavování parametrů jednotlivých korekčních bloků se provádí na základě uživatele.

Napájení je realizováno dvojicí transformátorů. Jeden z transformátorů je pomocný a trvale napájí digitální obvody a mikroprocesor. Druhý transformátor je tvořen převinutým transformátorem z mikrovlnné trouby a obstarává napájení výkonového i sluchátkového zesilovače. Příkon celého zařízení se pohybuje okolo 550 W při maximálním vybuzení. Zesilovač má poměrně nízkou účinnost 35 %, zbytek energie se přemění na teplo, na vláknech žhavení elektronek a v podobě anodového ztrátového výkonu.

Při realizaci byl kladen důraz na kvalitní součástkovou základu, protože jakost součástek má zásadní vliv na kvalitu reprodukce. Zesilovač je postaven ze součástek, které jsou běžně dostupné např. u distributora Farnell.



**Obrázek 2:** Postříbřená deska sluchátkového zesilovače

### 3 ZÁVĚR

V současné době jsou zcela dokončeny a oživeny desky koncového a sluchátkového zesilovače. Dále probíhá práce na digitální desce a vývoji firmware. V budoucnu bude možné k zesilovači připojit měřicí mikrofón a zesilovač se sám optimálně nastaví k připojené reproduktorové soustavě (tato funkce je již hardwarově vyřešena a bude nutné jen dokončit návrh firmware pro DSP).

### REFERENCE

- [1] Elektronky II – seznámení se s elektronickými zesilovači [online] Michal Hořák (postreh.com) 2006: – [cit. 30. března 2017]. Dostupné na www: <<http://www.postreh.com/phprs/view.php?cislocianku=2011081201>>.
- [2] CS8416 [online] Cirrus Logic 2007: 192 kHz Digital Audio Interface Receiver – [cit. 15. března 2017]. Dostupné na www: <[http://www.mouser.com/ds/2/76/CS8416\\_F3-34501.pdf](http://www.mouser.com/ds/2/76/CS8416_F3-34501.pdf)>.
- [3] IEC-60958 [online] - [cit. 15. března 2017]. Dostupné na www: <<https://law.resource.org/pub/in/bis/S04/is.iec.60958.1.2004.pdf>>.
- [4] PGA4311 [online] Texas Instruments 2002: 4 – Channel Audio Volume Control [cit. 15. března 2017]. Dostupné na www: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pga4311.pdf>>.
- [5] ADAU1701 [online] Analog Devices 2016: SigmaDSP 28-/56-Bit Audio Processor with Two ADCs and Four DACs [cit. 15. března 2017]. Dostupné na www: <<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADAU1701.pdf>>.
- [6] Co je to ultralinear zapojení? [online]. – [cit. 30. března 2017]. Dostupné na www: <<http://mujweb.cz/pjenicek/radioprevzate/ulinearzp.html>>.
- [7] Kevin Gilmore dynamic headphone amplifiers and power supplies [online]. – [cit. 26. března 2017]. Dostupné na www: <<http://www.djgardner.com/headphone/gilmore/>>.
- [8] Pod pokličkou elektronek [online]. – [cit. 26. března 2017]. Dostupné na www: <[http://www.hornstudio.cz/technika/elektronky\\_soucastky.html](http://www.hornstudio.cz/technika/elektronky_soucastky.html)>.
- [9] ATmega644P [online] Atmel 2016: 8-bit AVR Microcontrollers. – [cit. 26. března 2017]. Dostupné na www: <[http://www.atmel.com/Images/Atmel-42744-ATmega644P\\_Data-sheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42744-ATmega644P_Data-sheet.pdf)>.